mgr inż. JOLANTA GÓRSKA
mgr inż. MAREK PETZ

Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP

W a r s z a w a

STEROWANIE NADRZĘDNE I GRUPOWE ROBOTAMI

W artykule przedstawiono przegląd literatury dotyczącej zastosowania robotów przemysłowych w układach sterowania komputerowego jednym i wieloma robotami. Omówiono zarówno koncepcje takich układów, jak i zrealizowane już układy.

1. Wstęp

Współcześnie coraz częściej w dyskretnych procesach technologicznych stosuje się roboty lub linie robotów, czyli kilka robotów współpracujących ze sobą. Korzyści, które dzięki temu są osiągane to:

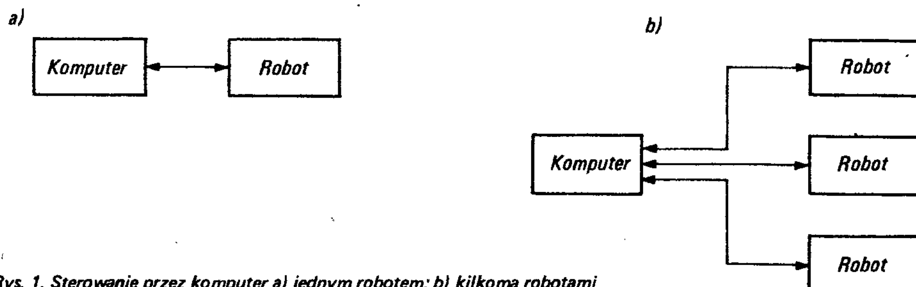
möżliwość otrzymania wysokiej jakości wyrobu,
uzupełnienie braku siły roboczej w konkretnych procesach,
obniżka kosztów bhp i spełnienie wymagań prawnych w tym względzie,
elastyczność linii produkcyjnej,
szybki zwrot kosztów inwestycji.

Sposoby współpracy są różnie określane, ale wydaje się, że można je podzielić na dwie zasadnicze grupy (nomenklatura jest dowolna):

- układy sterowania nadrzędnego, kiedy działaniem robotów steruje komputer nadrzędny,
- układy sterowania grupowego, kiedy roboty są powiązane ze sobą poprzez urządzenia technologiczne, bez udziału komputera nadrzędnego.

Czasami układy z komputerem nadrzędnym określa się jako sterowanie grupowe, a jako sterowanie nadrzędne układy, które określić by należało jako układy zdalnego sterowania, kiedy człowiek (jako element nadrzędny) steruje oddalonym manipulatorem (np. podwodnym lub kosmicznym).

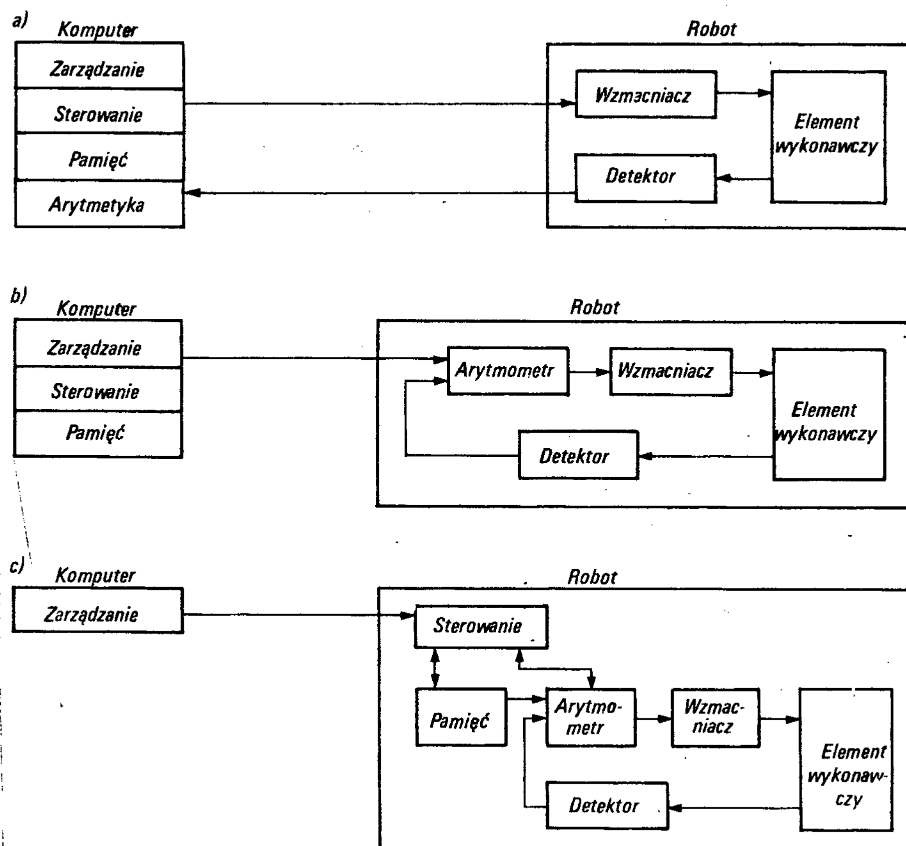
2. Układy sterowania z wieloma robotami



Rys. 1. Sterowanie przez komputer a) jednym robotem; b) kilkoma robotami

W układach sterowania komputerowego (rys. 1), jeden komputer steruje jednym,bądź kilkoma robotami. W przypadku przedstawionym na rys. 1a komputer jest zastosowany np. w systemie rozpoznawania otoczenia i w zależności od tego steruje robotem. W przypadku z rys. 1b zastosowano język Robotlan do programowania robotów Kawasaki-Unimate [1], który umożliwia współpracę robotów z pozostałym wyposażeniem.

Dla wyżej wymienionych przypadków podano [1] różne możliwości rozdziału funkcji sterujących między robotem a komputerem (rys. 2).



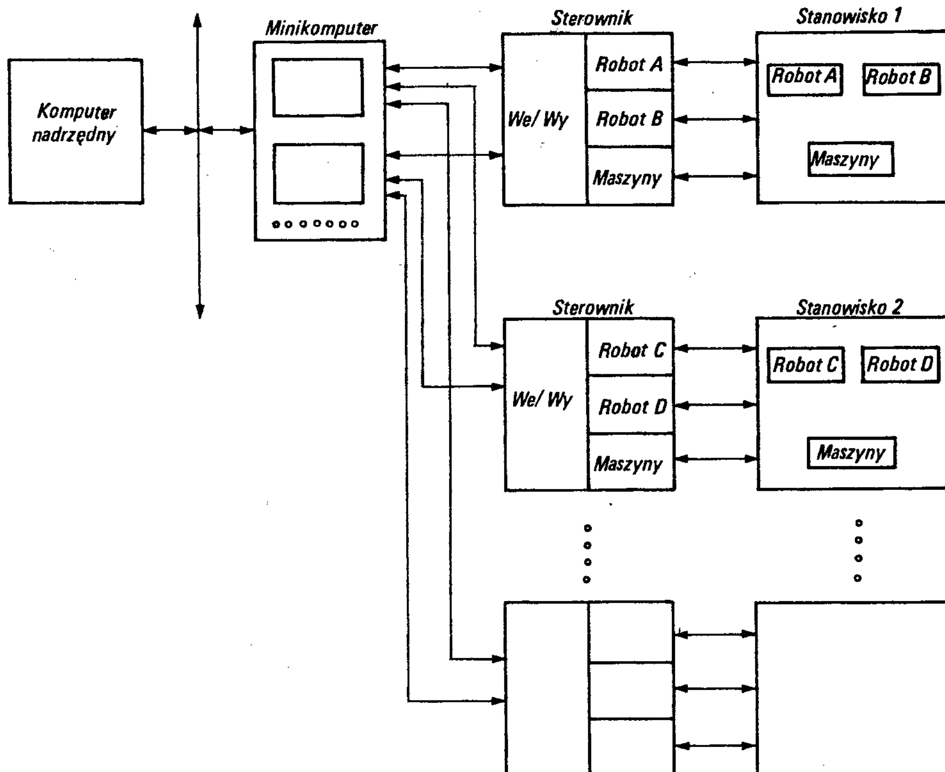
Rys. 2. Przykłady rozdziału funkcji sterujących między robotem a komputerem: a) komputer wykonuje główną część sterowania; b) robot wykonuje porównywanie wartości zadanej i rzeczywistej; c) komputer wykonuje funkcje zarządzające

W pierwszej wersji (rys. 2a), główną część sterowania przejmuje komputer. Sterownik robota musi zamienić tylko wartość błędu (np. położenia) na wartość wyjściową (np. ruchu).

W wersji drugiej (rys. 2b), wartość zadaną i rzeczywistą porównuje robot. Komputer najczęściej wykonuje również inną pracę, nie związaną ze sterowaniem robota.

W wersji trzeciej (rys. 2c), komputer wysyła sygnały do rozpoczęcia i zakończenia pracy, dokonuje zmiany programu, zbiera dane.

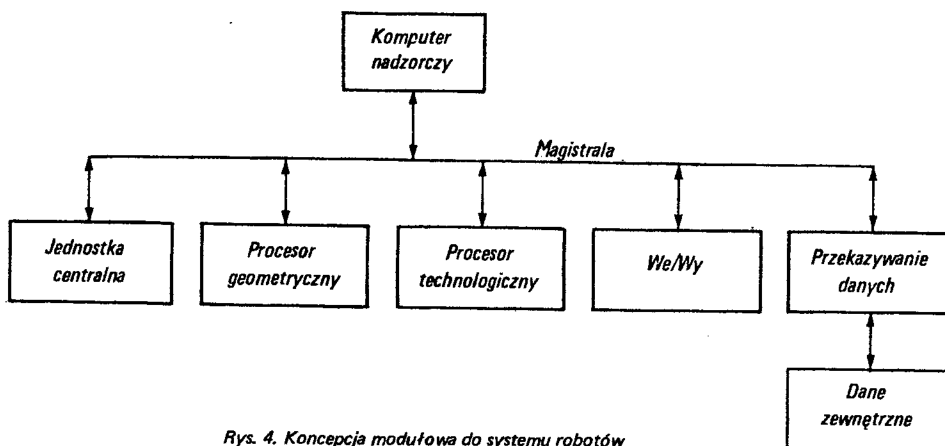
Poniżej (rys. 3) przedstawiono połączenie z rys. 1b, zastosowane praktycznie do obsługi centrum obróbkowego [1]. W układzie tym, na każdym etapie jest komunikacja między robotem i maszyną. Dodatkowo komputer może zbierać inne informacje, nie związane ze sterowaniem robotem. Wszystkie stopnie są sterowane przez jeden program nadrzędny.



Rys. 3. Obsługa centrum obróbkowego przy zastosowaniu komputera sterującego kilkoma robotami

W pracy [1] nie ma szczegółowych wyjaśnień dotyczących roli minikomputerów. Prawdopodobnie,oddzielne programy sterują silnikami, chwytakami, obsługują czujniki itd. Inną propozycją sterowania komputerowego jest koncepcja systemu wieloprocesorowego, z procesorami w układzie poziomym (rys. 4) [2]. W skład tego systemu wchodzą: jednostka centralna, która steruje rozpoczęciem pracy, dokonuje centralnych przerwań, zarządza magistralą, przełącza programy, reaguje na błędy systemu, prowadzi diagnostykę; procesor geometryczny, który wytwarza sygnały sterujące położeniem; procesor technologiczny, który dokonuje przetwarzania danych technologicznych do sterowania urządzeniami pomocniczymi; urządzenia wejścia/wyjścia, które realizują przyłączenia peryferyjne (dziurkarki, dalekopis, pamięć masowa).

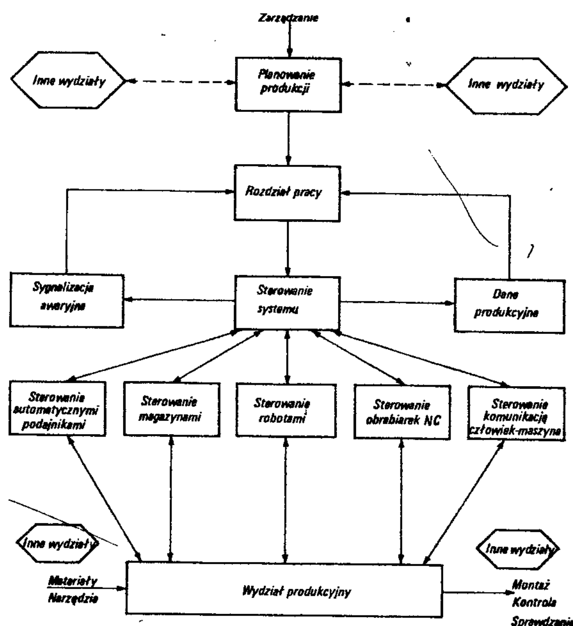
Funkcje sterujące są tworzone podobnie jak funkcje dla obrabiarek sterowanych numerycznie. Zaletą tego systemu jest możliwość dostosowania istniejących procesorów do zadań sterowania poprzez programowanie.



Rys. 4. Koncepcja modułowa do systemu robotów

Zasady sterowania komputerowego zostały także opracowane przez szwedzką firmę ASEA. Według materiałów ASEA interfejs komputera umożliwia:

- przesyłanie programu do/z robota,
- wysyłanie informacji do ponownego startu programu albo do włączenia nowego programu,
- szukanie,poprzez odczytywanie wartości, położenia robota,
- komputerowe sterowanie przyrostowe (sterowanie bezpośrednio przez nadrzędny komputer umożliwia zaawansowane szukanie).

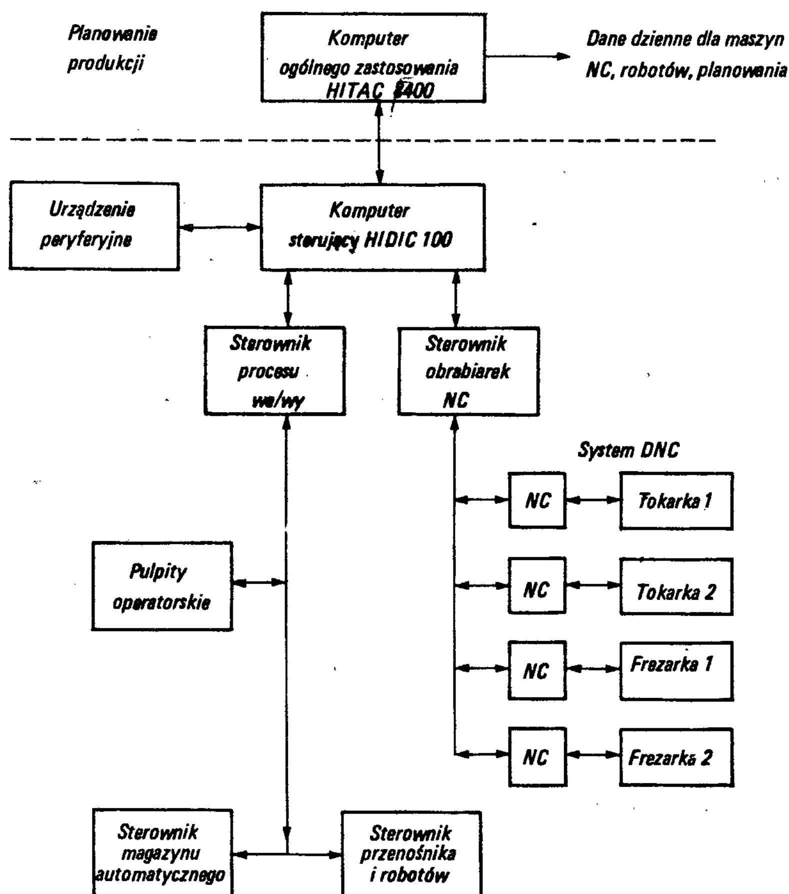


Rys. 5. Struktura funkcjonalna oprogramowania

Informacje przekazywane z robota do komputera to: segmenty programu robota,aktualna pozycja osi, stan robota (np. stop awaryjny), sygnały procesu (wejścia cyfrowe), stwierdzenie tożsamości robota. Informacje przekazywane z komputera do robota to: programy robota, kroki przyrostowe, start programu.

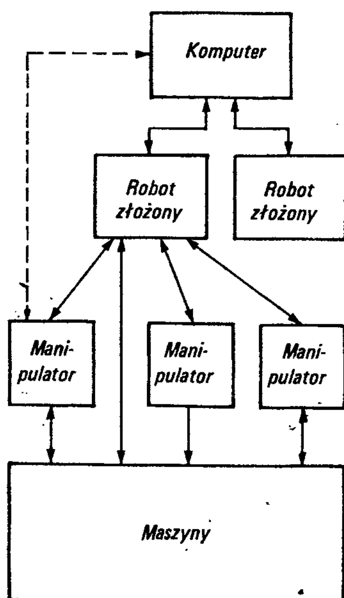
Przesyłanie informacji odbywa się według standardów dotyczących oprogramowania (ECMA 16) i sprzętu (CCITT V24). System ten, stosowany w liniach produkcyjnych z dużą liczbą robotów i maszyn NC, umożliwia stosowanie bardzo długich programów dzięki przesyłaniu danych z i do komputera. Jest to, w zamierzeniu ASEA, pierwszy krok do dalszego rozwoju systemów komputerowych do szukania zaawansowanego, przekształcenia współrzędnych itd.

Konkretny system sterowania nadrzędnego został zastosowany w Japonii, w jednym z zakładów produkujących wały do silników [3]. Strukturę funkcjonalną oprogramowania przedstawiono na rys. 5.

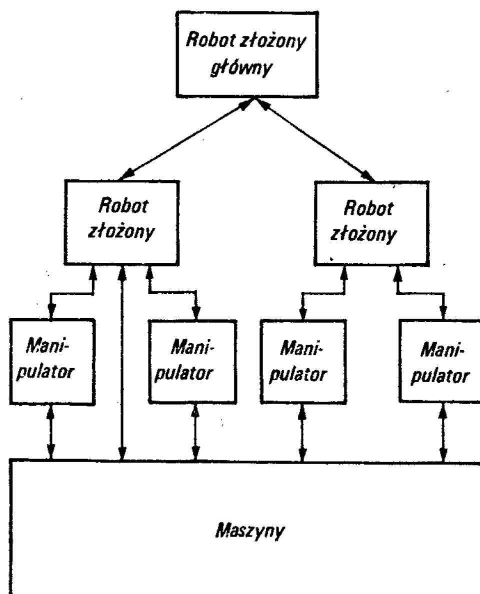


Rys. 6. System sterowania komputerowego

Instalacja w wyżej wymienionym przypadku zawiera: 2 tokarki DNC, 2 frezarki DNC, przenośnik z paletami, 4 roboty, automatyczny magazyn, pulpity operatorskie, komputer sterujący.
Planowanie produkcji wykonuje komputer ogólnego zastosowania (rys. 6). Podobny system produkcji zintegrowanej IMS (integrated manufacturing system) zastosowano w wydziale wytwarzającym małe silniki elektryczne Hitachi. Jest on traktowany jako pierwszy etap do zrealizowania fabryki bez ludzi.
Proponowana jest także nieco inna koncepcja sterowania z bezpośrednim powiązaniem między robotami [4]. System taki zawiera roboty o różnych możliwościach sterowania, np. roboty złożone i proste (manipulatory) (rys. 7 i 8).

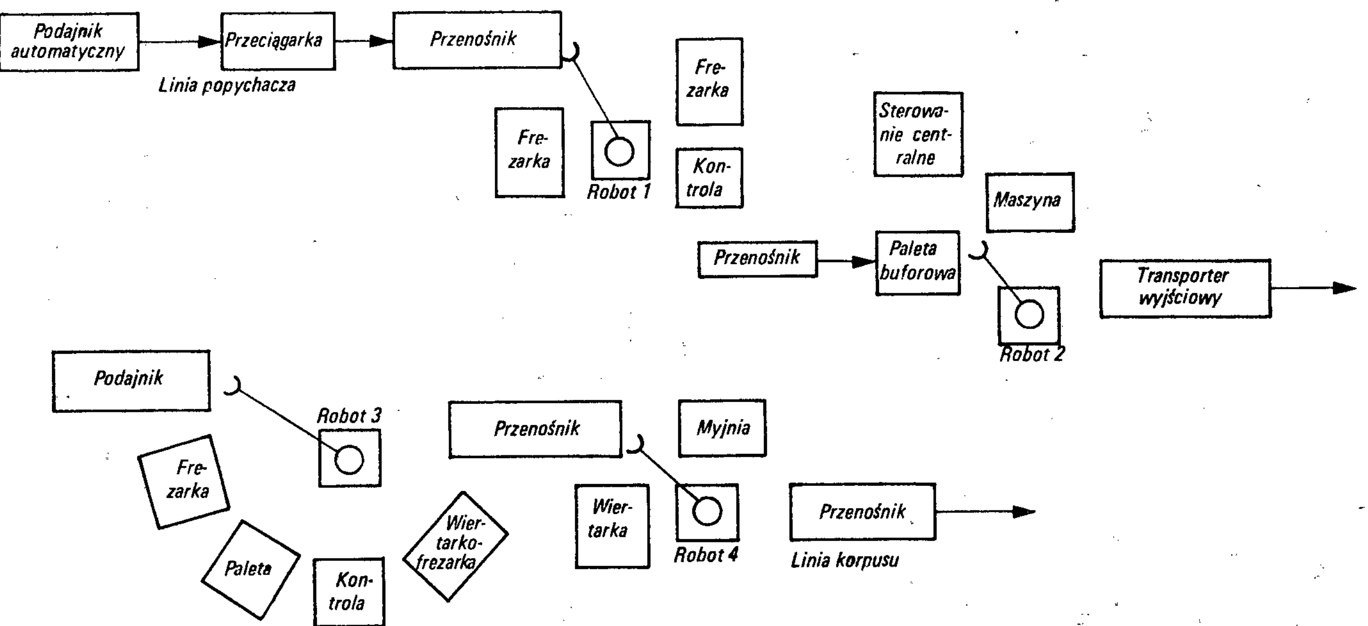


Rys. 7. Przykład sterowania komputerowego z bezpośrednim powiązaniem między robotami



Rys. 8. Przykład systemu z bezpośrednim powiązaniem między robotami

Koncepcję przedstawioną na rys. 8 zastosowano do linii obróbki piast kół w Leningradzie. Linia ta obejmuje gniazdo tokarek NC, wiertarkę NC, 2 roboty oraz manipulator. Sterowanie, w którym występują powiązania przez stanowisko (może to być także komputer nadrzędny), zastosowano w fabryce silników w USA. Stanowisko obsługują roboty Unimate [5] (rys. 9). W układzie tym centralne sterowanie wybiera podprogramy i kolejność działań robotów *1,2* i *3* Robot *4* wykonuje zawsze ten sam program. Są także połączenia między robotami i maszynami (czujnik obecności części, sygnał skończenia cyklu pracy maszyny), które są niezależne od centralnego sterowania.
W robotach *1,2,3* są oddzielne programy wybierające rodzaj pracy oraz służące do realizacji wskazań liczników i sygnalizacji. Roboty te mają możliwość wyboru (po zezwoleniu przez program nadrzędny) obsługi różnych maszyn w zależności od sytuacji technologicznej.



Rys. 9. Przykład sterowania, w którym występuje powiązanie przez stanowisko

3. Sterowanie jednym robotem

Wysuwana jest koncepcja zastosowania komputera off-line, który współpracuje z komputerem on-line, wykonującym tylko proste operacje.

Komputer off-line jest używany do nauczania nowego zadania albo modyfikacji poprzedniego programu. Jeden taki komputer może być stosowany do wielu robotów mających własne procesory on-line. Koncepcję tę wykorzystano do zgrzewania punktowego na ruchomym przenośniku z zastosowaniem robota Unimate 2000B [6].

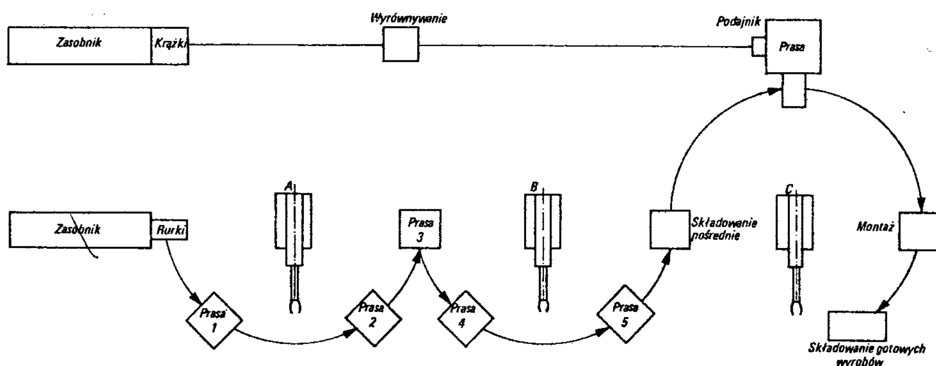
Do sterowania jednego robota proponuje się także zastosowanie systemu wielomikroprocesorowego [7]. Centralna jednostka sterująca ma zadania funkcjonalne i zarządza poziomem niższym z mikroprocesorami zajmującymi się zadaniami sterowania bieżącego silnikami, chwytakami i obsługi czujników. Współpraca mikroprocesorów odbywa się za pośrednictwem jednostki centralnej dla uproszczenia instalacji komputerowej. Mikroprocesory obsługują różną liczbę urządzeń ze względu na różny poziom komplikacji zadań: 1 mikroprocesor silnikowy obsługuje 1 silnik, 1 mikroprocesor chwytakowy obsługuje maksymalnie 32 chwytaki, 1 mikroprocesor czujnikowy obsługuje maksymalnie 8 czujników.

Istnieją także połączenia między mikrokomputerami, zabezpieczające działanie układu w przypadku odłączenia jednostki centralnej. Wtedy wyłączenie silników spowodowane przeciążeniem chwytaków następuje bez udziału jednostki centralnej.

Pojęć sterowania nadrzędnego używa się także do podziału zadań wykonywanych przez jeden robot [8].

4. Przykłady linii produkcyjnych z robotami przemysłowymi

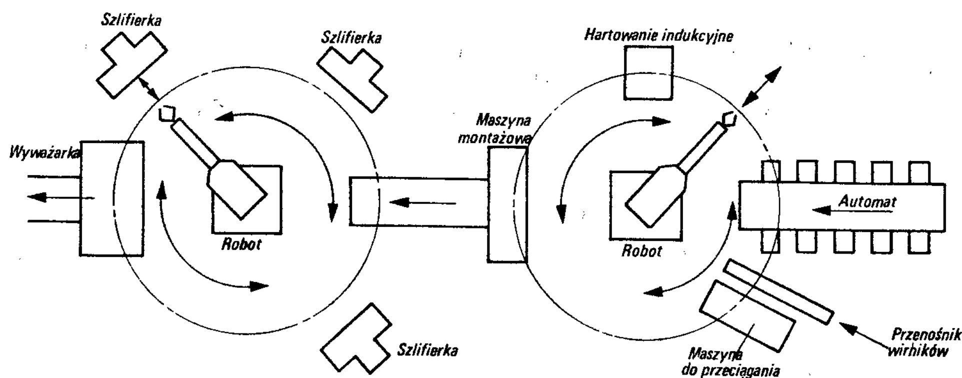
W Szwecji, w linii do produkcji skraplaczy chłodziarek zainstalowano trzy roboty przemysłowe MHU-Senior. Zadaniem ich jest obsługa pras. Linia składa się z dwóch części: w jednej są wytwarzane poprzeczki z arkuszy blachy, które są podawane do maszyny zwijającej, natomiast w drugiej z rurek są wykonywane spirale. Działanie robotów w tej linii jest następujące (rys. 10): robot *A* pobiera ucięte rurki z zasobnika i kolejno podaje je do prasy formującej *1* i *2* oraz do prasy do przebijania otworów *3*. Robot *B* odbiera wypraski z prasy przebijającej *3* i przekłada je pod prasy formujące *4* i *5*. Po zakończeniu operacji tłoczenia, robot *B* odbiera części i wkłada je do zasobnika międzyoperacyjnego. Poprzeczki z pierwszej części linii i spirale z drugiej części linii robot *C* przenosi na maszynę montującą i gotowe skraplacze wkłada do zasobnika [9].



Rys. 10. Schemat linii produkcyjnej skraplaczy do lodówek

Interesującym przykładem grupowego zastosowania robotów przemysłowych jest linia zgrzewania w firmie Fiat (Włochy), w której pracuje 18 robotów typu Unimate. Każdy z nich jest wyposażony w odpowiednią głowicę i na karoserii wykonuje od 6 do 12 zgrzein. Robot jest w stanie wykonać wszystkie zgrzeiny na karoserii, nawet takie, których ręcznie nie można by wykonać. Zgrzewane obiekty przesuwają się na specjalnym przenośniku. Dokładne ustawienie karoserii w miejscach zgrzewania uzyskuje się za pomocą hydraulicznych obrotowych urządzeń pozycjonujących. Sygnał do przesunięcia karoserii do następnej pozycji roboczej jest przekazywany automatycznie z centralnej jednostki sterującej linii, do której są przyłączone wszystkie roboty. Przesunięcie to jest jednak uwarunkowane ukończeniem wszystkich operacji zgrzewania. Jakość pracy robotów przemysłowych jest kontrolowana specjalnym urządzeniem, które umożliwia wykrycie źle pracujących głowic. Nieprawidłowo wykonane zgrzeiny poprawia się ręcznie [9].

Firma ASEA (Szwecja) uruchomiła linię do produkcji, montażu i dynamicznego wyważania wirników maszyn elektrycznych. Linia składa się z 8 maszyn, 2 przenośników i 2 robotów typu Unimate (rys.11)



Rys. 11. Schemat linii produkcyjnej wałków, obsługiwanej przez dwa roboty

Pierwszą maszyną w linii jest wielopozycyjny automat do produkcji wałków z półwyrobów. Obrobione wałki z tego automatu są podawane do strefy obsługi pierwszego robota za pomocą przenośnika, który umożliwia wydzielenie jednego wałka i dokładne jego pozycjonowanie w stosunku do chwytaka robota. Drugim wejściem do linii jest przenośnik wirników zakończony urządzeniem pozycjonującym, które umożliwia uchwycenie wirnika przez robot. Pozostałe maszyny w linii to: pionowa przeciągarka, na której jest obrabiana powierzchnia wewnętrzna wirnika oraz indukcyjna maszyna hartownicza do obróbki cieplnej. Pierwsza część linii jest zakończona maszyną montażową, na której są montowane wałki i wirniki. Zmontowane jednostki są dalej samoczynnie przesuwane przez urządzenie studzące do strefy pracy drugiego robota, który obsługuje trzy szlifierki do szlifowania na okrągło i automatyczną maszynę do wyważania. Robot jest zaopatrzony w dwa chwytaki, które przy stałym położeniu ramienia odbierają obrobioną część i umieszczają następny półwyrób w położeniu roboczym maszyny. Linia umożliwia obróbkę wałków i wirników o różnych wymiarach [9]. Cały cykl produkcyjny przebiega bez uczestnictwa człowieka. Przy linii są zatrudnieni dwaj pracownicy, którzy kontrolują działanie robotów i maszyn oraz przygotowują półwyroby na wejście do linii.

Linia zgrzewania karoserii samochodów w FSO w Warszawie jest również interesującym przykładem zastosowania robotów. Roboty Unimate są zgrupowane w zestawach po trzy. Jeden zestaw jest zapaso-

wy. W razie awarii robota z jakiegoś zestawu, komputer wysyła sygnał uruchamiający odpowiedni robot z zapasowego zestawu.

Literatura

[1] Itoh S. i inni: Application of computer control for industrial robot. 4th International Symposium on Industrial Robot. Tokyo 1974.

[2] Stute G., Wörm M.: Mehrprozessorsteuersystem für Industrieroboter. 8th International Symposium on Industrial Robot. Stuttgart 1978.

[3] Tamanaka K. i inni: Integrated manufacturing system of electrical machinery. IEEE Transactions on Manufacturing Technology. December 1974.

[4] Yurevich E.I: Electromechanical robot system for the automation of manufacturing process. Second International Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Warszawa 1976.

[5] Munson G.: Integrated machining system using industrial robots. 8th International Symposium on Industrial Robot. Stuttgart 1978.

[6] Perzley W.: Robot path control by off-line computer. 8th International Symposium on Industrial Robot. Stuttgart 1978.

[7] Cassinis R., Mezzalira L.: A multimicroprocessor system for the control of an industrial robot. 7th International Symposium on Industrial Robot. Tokyo 1977.

[8] Engelberger I.F.: Stand-alone vs. distributed robotics. Computer vision and sensor based robots. Ed. G. Dodd, L. Rossol, London 1978.

[9] Buda J., Kovač M.: Zastosowanie robotów przemysłowych. WNT, Warszawa 1979.